

환형 배치된 코로나 전극에 의한 이온풍 발생 특성

(The Characteristics of the Ionic Wind Generation with Corona Electrodes Installed in Form of the Ring)

김진규* · 정재승**

(Jin-Gyu Kim · Jae-Seung Jung)

Abstract

The electric power can be converted into the mechanical power by a corona discharge system. This way has not stronger force than a electric motor. But it has been applied in various industrial fields because of many advantages, no moving parts, smaller noise, simpler structure, minimizing et al. In this paper, corona discharge system with multiple corona electrode installed in form of the ring, has been studied by focusing on the electrical and mechanical characteristics. Intensity of the corona discharge depends on applied electric field, and electric field is related to the applied voltage, discharge gap spacing(s), distance between each corona electrodes(d). As a result, in the case $d/s=0.9$, most intensive discharge occurred in this experiments. In the region of $d/s<0.9$, ionic wind velocity has saturation value in spite of decreasing corona current, because each ion velocities increase by the increasing electric field.

Key Words : Multiple Corona Electrode, Corona Discharge, Ionic Wind Velocity

1. 서 론

전자장비에 적용되는 냉각방식 중에서 공랭식은 팬

-
- * 주저자 : 경북대학교 전기공학과 교수
 - ** 교신저자 : 경북대학교 전기공학과 공·박사
 - * Main author : Professor, Department of Electrical Engineering, Kyungpook National University
 - ** Corresponding author : Ph D., Department of Electrical Engineering, Kyungpook National University
- Tel : 053-950-7226, Fax : 053-950-6600
E-mail : kjg@knu.ac.kr
접수일자 : 2013년 11월 2일
1차심사 : 2013년 11월 7일, 2차심사 : 2013년 12월 2일
심사완료 : 2013년 12월 9일

을 이용하여 공기를 순환시키는 방식을 주로 사용하고 있으며, 팬의 가동을 위하여 전기 에너지를 회전운동으로 변환 가능한 전동기가 일반적으로 사용되고 있다. 전동기의 경우 회전축, 정류자, 베어링, 전자석, 기계적 지지물 등 다양한 형태의 기계적 구성 부품이 필요하기 때문에 기계적 마모나 소음, 소형화, 경량화에 대한 문제점이 발생하게 된다[1].

이와 같은 문제점을 해결하기 위하여 정전력이나 다양한 형태의 방전을 이용해서 전기적 에너지를 기계적 에너지로 직접 변환하고자 하는 연구가 다양하게 수행되고 있다. 이와 같은 방법 중 방전에 의한 방법은 전계 밀도차 또는 방전에 의해 발생한 이온 간의

전기적 반발력에 의한 이온풍을 이용한 것으로 기존의 전동기와 같은 기계적인 방식과는 많은 차별성을 가지고 있다.

전동기에 비하여 전기적 방전에 의한 방법은 에너지 변환장치의 구조가 방전 전극으로만 구성되어 있기 때문에 매우 단순하고, 회전운동과 같은 기계적 운동을 하지 않기 때문에 기계적 마모나 그에 의한 소음이 발생하지 않으며 내구성이 우수한 장점을 가지고 있다[2-3]. 그러나 회전 운동으로 전환시 전동기에 비하여 회전력이 약해 강한 힘을 요구하는 분야에 적용하기에는 미흡하다. 따라서 이와 같은 전기적 방전에 의한 방식은 강한 힘을 요구하지 않는 냉각 송풍, 분진형 물질의 수송, 보조 추진력 등에 주로 적용할 수 있으며, 현재 이를 위한 연구가 다수 수행되고 있다[4-7].

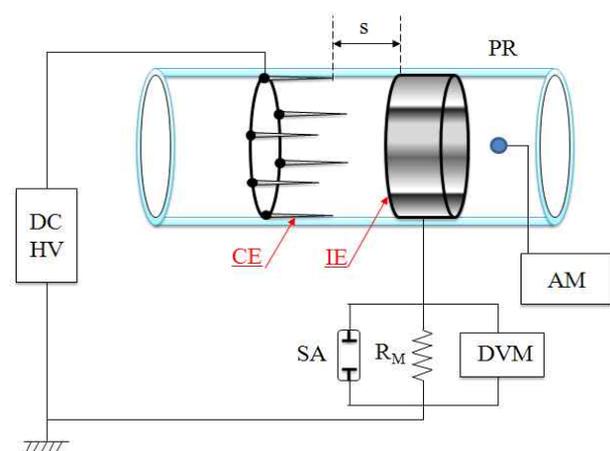
전기적 방전에는 유전체 장벽 방전(dielectric barrier discharge), 슬라이딩 방전(sliding discharge) 코로나 방전(corona discharge) 등이 있으며, 이중 전자 장치의 냉각을 위한 송풍장치로는 코로나 방전 형식을 취하는 경우가 일반적이다.

코로나 방전시 코로나 전극의 첨단 부근인 코로나 영역(corona region)에서 발생된 이온들이 방전전극과 유도전극간의 전계에 의하여 가속되어 접지전극으로 이동한다. 이들 이온들의 이동은 전류로 나타나며, 그 전류밀도는 $\vec{j} = q(\mu_i \vec{E} + \vec{v}) - D \nabla q$ 로 나타낼 수 있다. 여기서, \vec{j} 는 전류밀도, μ_i 는 이온 이동도(ion-mobility), D 는 이온의 확산계수(diffusion coefficient), \vec{v} 는 기체의 속도를 나타낸다[8]. 이러한 이온들의 이동은 중성 기체분자와의 충돌을 통하여 송풍력을 발생시킬 수 있다.

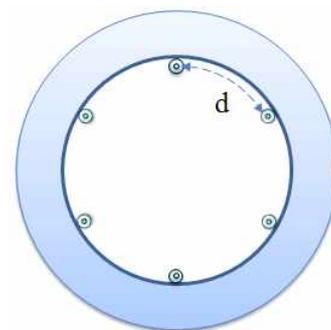
본 연구는 코로나 방전에 의한 이온풍을 냉각장치로 대체 적용하기 위한 연구이다. 이온풍의 효과적인 발생을 위하여 침형 코로나 전극과 밴드형 유도전극을 관형 방전장치의 내벽에 환형으로 설치하여 방전장치 내벽 표면에서의 코로나 방전에 의한 이온풍 발생 특성을 실험적으로 연구하였다. 일반적으로 코로나 방전에 의한 이온풍은 코로나 전극의 연장선상에서 가장 빠른 이온풍속을 가지며, 이 선에서 멀어질수록 풍속이 급속히 감소하는 특성을 보인다[5]. 그러나 관형

의 방전 장치 내벽에 코로나 전극을 설치하면 표면에서 발생한 이온풍에 의하여 방전장치의 중앙영역에서도 2차 이온풍이 유도되어 이온풍 발생영역이 송풍통로 전 영역으로 균일하게 확대될 수 있을 것으로 사료된다. 또한 코로나 전극이 송풍통로 중심에 설치되지 않고 표면에 위치하여 이에 의한 풍속 저하도 발생하지 않게 된다.

2. 실험방법 및 장치



(a) Schematics of the experimental circuit



(b) Positions of the needle type corona electrode

- | | |
|---------------------------|---------------------------------|
| DCHV : DC HV supply | PR : plasma reactor |
| CE : corona electrode | IE : induction electrode |
| AM : anemometer | SA : surge arrester |
| RM : measurement resistor | DVM : digital voltmeter |
| s : discharge gap spacing | d : distance between electrodes |

그림 1. 실험 장치 개략도
Fig. 1. Schematics of the experimental setup

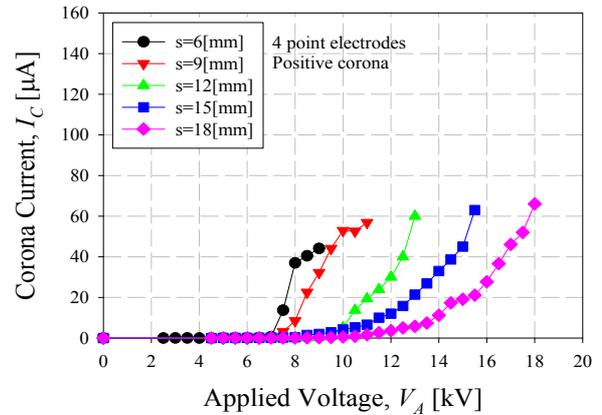
그림 1은 본 실험에 사용된 실험장치의 개략도를 나타낸 것으로, 직경 25mm인 방전관 내부에 코로나 방전전극과 이온풍속 측정장치를 설치하였다. 코로나 방전전극으로는 4~8개의 스테인리스스틸(SUS) 재질의 침형 전극을 그림 1 (b)에서와 같이 방전관 내벽에 환형으로 균일하게 설치하였으며, 유도전극으로는 밴드형 금속판을 내벽에 관 형태로 부착하였다. 인가전압은 직류 고전압원(Spellman SL30P600, USA)을 사용하였으며 코로나 방전전류는 저압부에서 측정저항(1.00k Ω)과 디지털멀티미터(DVM, Fluke 79)를 이용하여 측정하였다. 이온풍속은 열선식 풍속계(Anemometer, Testo 425, Germany)를 유도전극에서부터 후방 10.0mm인 지점에 설치하여 측정하였다.

침형 전극 끝단과 유도전극 간의 거리(s)는 6~18mm로 조절 가능하도록 제작되었으며, 환형으로 배치된 침형 전극 수 조절을 통한 전극들 간의 거리(d)와 침형 전극 끝단과 유도전극 간의 거리(s) 가변에 따른 전기적 특성과 이온풍속 발생 특성에 대한 실험을 수행하였다.

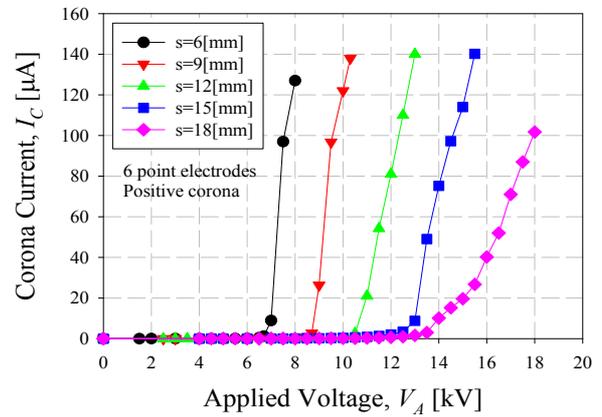
3. 실험결과 및 고찰

그림 2는 코로나 전극을 구성하는 침형 전극의 개수와 방전 간격(s)에 따른 전압-전류 특성을 나타낸 것이다. 방전 간격이 커질수록 코로나 개시전압과 절연 파괴전압이 증가하지만 절연파괴 직전의 최대 코로나 전류는 이에 비례하여 지속적으로 증가하지 않고, 다시 감소하는 경향을 나타내었다. 이는 코로나 전극과 유도 전극간의 간격이 커지면서 인가전압의 최대치인 절연파괴전압은 증가하는데 반하여, 코로나 방전의 요인이 되는 불평등전계는 약화되고, 또한 방전공간의 절연저항도 증가하기 때문이다.

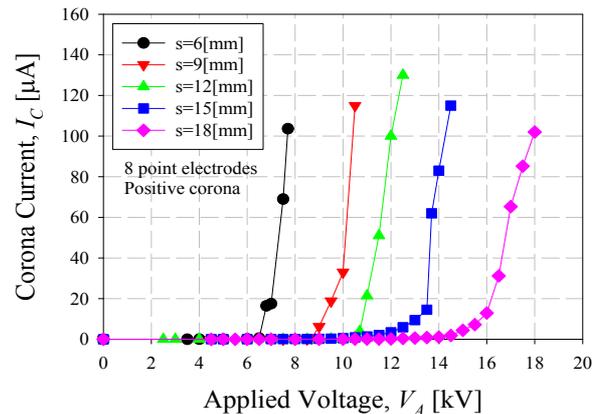
코로나 전극을 구성하는 침형 전극의 개수가 4개에서 8개로 증가함에 따라 코로나 방전 발생 영역이 증가하므로 최대 코로나 전류가 증가한다. 그리고 침형 전극의 수가 증가함에 따라 최대 코로나 전류가 다시 감소하기 시작하는 방전간격이 더 작아지는 경향을 보인다. 이는 침형 전극간의 간격이 가까워



(a) 4 needle corona electrodes



(b) 6 needle corona electrodes



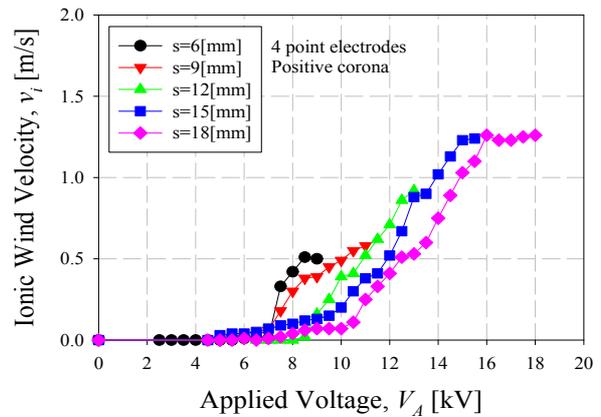
(c) 8 needle corona electrodes

그림 2. 전극 수와 방전 간격에 따른 I-V 특성
Fig. 2. I-V characteristics of the discharge system for the needle type electrode number

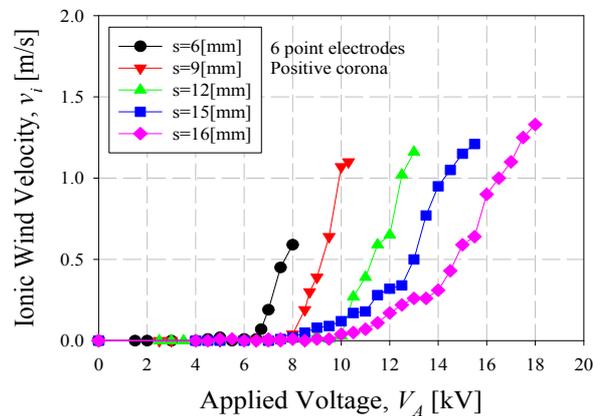
침에 따라 방전 공간 내의 불평등전계는 약화되기 때문이다. 즉 침형 전극의 수가 증가하여 침형 전극들간의 간격이 작아지거나 코로나 전극과 유도전극간의 간격이 커지면, 방전간격에 인가되는 전계의 불평등도가 약화되어 코로나 방전의 세기가 감소하게 된다. 따라서 코로나 방전의 발생 강도는 침형 전극들간의 간격(d)과 방전 간격(s)의 비(d/s)에 관계되며, 이 비는 방전간격이 커질수록 침형 전극의 개수가 증가할수록 감소하게 된다. 따라서 이 비가 감소할수록 각 침형 전극과 유도 전극간의 불평등전계의 불평등도도 감소하게 된다. 동일한 수의 침형 전극으로 코로나 전극을 구성할 경우, d/s 가 0.9로 감소할수록 최대 코로나 전류가 증가하지만 0.9보다 감소하게 되면 최대 코로나 전류가 감소하는 특성을 보인다. 따라서 $d/s=0.9$ 정도에서 가장 효과적인 코로나 방전이 발생하며 그에 따라 가장 많은 이온들이 발생하게 된다.

그림 3은 침형 전극의 개수와 방전 간격에 따른 이온풍의 발생 특성을 나타낸 것이다. 이온풍속의 증가를 위해서는 코로나 방전에서 발생하는 이온 양의 증가와 방전 간격 간에 인가되는 전계가 강화되어야 한다. 방전 간격이 커질수록 절연과괴전압이 증가하게 되므로 인가할 수 있는 전계는 더욱 커지게 되어 이는 그림 3 (a)에 나타난 것처럼 이온풍속이 증가한다. 그러나 방전 간격이 15mm 이상이 되면 이온풍속은 포화된 값을 가지게 된다. 이는 그림 2에 나타난 것처럼 방전 간격이 증가할수록 방전 전극간의 불평등전계의 불평등도가 감소하게 되므로 코로나 방전이 약화되기 때문으로 사료된다. 특히 이 경향은 코로나 전극을 구성하는 침형 전극의 수가 증가할수록 더욱 강하게 나타나게 된다. 침형 전극의 수가 증가할수록 침형 전극간의 간격이 가까워지며, 각 침형 전극과 유도 전극간의 불평등전계의 불평등도가 감소하므로 방전 간격이 증가하였을 때와 동일하게 코로나 방전이 약화되기 때문으로 사료된다.

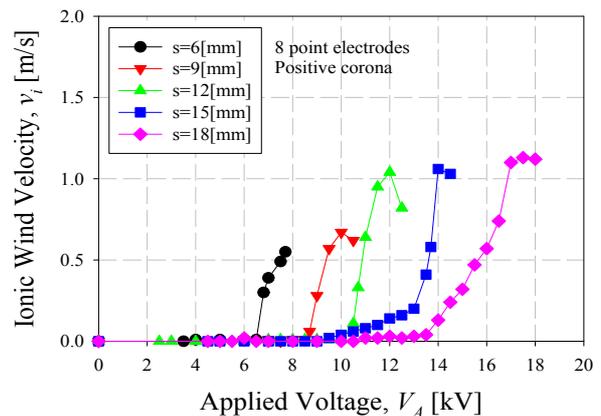
따라서 코로나 전극을 구성하는 침형 전극수가 증가할수록 이온 발생 영역이 확대되어 전체 이온 발생량을 증가시킬 수 있지만, 침형 전극수를 과도하게 증가시키면 그림 2 (c)에서 나타난 것처럼 오히려 코로나



(a) 4 needle corona electrodes



(b) 6 needle corona electrodes



(c) 8 needle corona electrodes

그림 3. 전극 수와 방전 간격에 따른 이온풍속 특성
Fig. 3. Ionic wind velocity characteristics for the needle type electrode number

방전이 저해되어 발생 전하량이 감소하게 된다. 그 결과 그림 3 (c)에 나타난 것처럼 이온풍속이 감소하는 결과를 나타내었다.

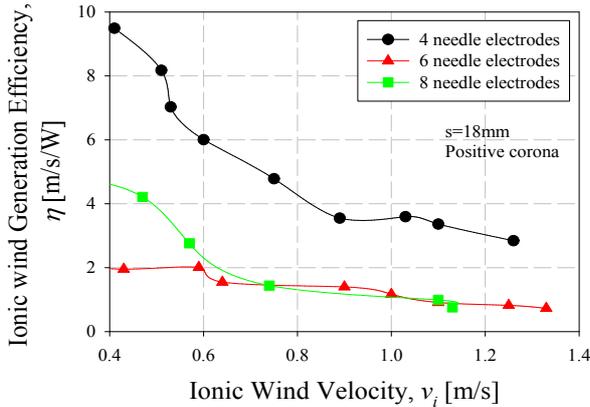


그림 4. 이온풍속 발생 효율 특성
Fig. 4. The ionic wind generation efficiency characteristics

그림 4는 방전 간격 $s=18\text{mm}$ 일 때 이온풍속 발생 효율 특성을 나타낸 것이다. 이온풍속 발생 효율, $\eta = v_i / P_{elec} = v_i / V_A I_C$ 는 이온풍속이 증가할수록 효율이 감소하는 특성을 나타내었으며, 이는 상기의 실험 결과에 나타난 것처럼 코로나 방전시 인가전압이 절연과피 전압에 가까워질수록 코로나 전류는 급속히 증가하는데 반하여 이온풍속은 일정한 값으로 포화되기 때문이다. 침형 전극 수에 따른 이온풍속 발생효율의 경우 이온풍속이 0.6m/s 이상부터는 침형 전극 수가 4개인 경우가 가장 높게 나타나며, 침형 전극 수가 6, 8개인 경우는 이온풍속 발생효율이 비슷하게 나타남을 알 수 있다. 이는 침형 전극의 수가 6, 8개인 경우가 4개인 경우보다 방전 전극간의 간격에 비하여 침형 전극들 간의 간격이 작아지기 때문에 코로나 방전의 효과적인 발생이 되지 않아 전력 효율이 낮게 나타나는 것으로 사료된다.

4. 결 론

본 연구에서는 이온풍 발생장치의 코로나 전극으

로 침형 방전전극을 방전관 내벽에 환형으로 설치하여 그 전기적 특성과 이온풍 발생특성에 대하여 실험적으로 연구하였다. 코로나 방전의 발생 강도는 코로나 전극을 구성하는 침형 전극간의 간격과 코로나 전극과 유도전극사이의 방전 간격 비(d/s)에 관계되며, 이 비가 감소할수록 방전 전극간의 불평등전계의 불평등도가 감소하게 된다. 동일한 수의 침형 전극으로 코로나 전극을 구성할 경우, d/s 가 0.9로 감소할수록 최대 코로나 전류가 증가하지만 0.9보다 감소하게 되면 최대 코로나 전류가 감소하는 특성을 보인다. 따라서 $d/s=0.9$ 정도에서 가장 효과적인 코로나 방전이 발생하며 그에 따라 가장 많은 이온들이 발생하게 된다. 그러나 코로나 전류가 감소하더라도 인가 전계의 증가에 의해 개별 이온들의 이동속도가 증가하였기 때문에 전체 이온 및 중성입자들의 평균 속도는 일정하게 포화되는 값을 나타낸다.

향후 환형 배치된 코로나 전극의 적정 크기와 배치, 이온풍 발생 효율 향상에 대한 연구를 통하여 전자장치의 냉각을 위한 송풍장치의 실적용화 대한 연구가 진행되어야 할 것이다.

이 논문은 2013학년도 경북대학교 학술연구비에 의하여 연구되었음.

References

- [1] F. Yang, N. E. Jewell-Larsen, D. L. Brown, K. Pendergrass, D. A. Parker, I. A. Krichtafovitch, A. V. Mamishev, Corona driven air propulsion for cooling of electronics, XIIIth International Symposium on High Voltage Engineering, pp. 1-4, 2003.
- [2] R. Mestiri, R. Hadaji, S. B. Nasrallah, The electrical discharge as a source of a mechanical energy, Desalination, 220, pp. 468-475, 2008.
- [3] E. Moreau, G. Touchard, "Enhancing the mechanical efficiency of electric wind in corona discharge, Journal of Electrostatics, 66, pp. 39-44, 2008.
- [4] A. Rashkovan, E. Sher, H. Kalman, Experimental optimization of an electric blower by corona wind, Applied Thermal Engineering, 22, pp. 1587-1599, 2002.
- [5] M. Rickard, D. Dunn-Rankin, F. Weinberg, F. Carleton, Maximizing ion-driven gas flows, Journal of Electrostatics,

- 64, pp. 368-376, 2006.
- [6] B. Komeili, J. S. Chang, G. D. Harvel, C. Y. Ching, Electrohydrodynamically Enhanced Capillary Evaporator, International Symposium on New Plasma and Electrical Discharge Applications and on Dielectric Materials, pp. 111-116, 2007.
- [7] D. B. Go, R. A. Maturana, T. S. Fisher, S. V. Garimella, Enhancement of external forced convection by ionic wind, International Journal of Heat and Mass Transfer, 51, pp. 6047-6053, 2008.
- [8] L. Zhao, K. Adamiak, EHD flow in air produced by electric corona discharge in pin-plate configuration, Journal of Electrostatics, 63, pp. 337-350, 2005.

◇ 저자소개 ◇



김진규 (金振圭)

1967년 2월 24일생. 1990년 경일대학교 공과대학 전기공학과 졸업. 1994년 경북대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1998년 경북대학교 대학원 전기공학과 졸업(박사). 2000년 경북대학교 전자전기공학부 BK21조교수. 2001~2008년 상주대학교 전자전기공학부 부교수. 2008~2012년 경북대학교 산업전자전기공학부 부교수. 2012년~현재 경북대학교 IT대학 전기공학과 교수. 현재 본 학회 대구·경북지회 재무이사 및 본 학회 평의원.



정재승 (鄭在勝)

1979년 4월 14일생, 2004년 경북대학교 공대 전자전기공학부 졸업. 2007년 경북대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2011년 경북대학교 대학원 전자전기컴퓨터학부 졸업(박사).